

[研究助成 (A)]

人との協働作業を可能にするソフトロボットハンド・アームシステムの開発

Development of a soft robot hand-arm system towards human-robot collaboration

2211030



研究代表者

東京大学 大学院情報学環

准教授

山 川 雄 司

[研究の目的]

人とロボットとが安全安心に協調・協働するためには、ロボットが人を傷つけないソフトロボットの開発が必要不可欠である。しかしながら、ソフトロボットはその柔らかさゆえに物体把持等のタスク実現が困難な場合があり、用途が限定されてしまう可能性がある。人との協働や物体把持等を考えると、位置・姿勢の可制御性や剛性の可変性が必要となる。加えて、ポータブルサイズの持ち運びも可能になると、応用範囲も拡張されると考えられる。また、人の動作に合わせるためには、ある程度的高速性も必要である。

そこで本研究では、人との協働作業を可能にし、位置・姿勢の制御が可能、剛性可変、持ち運び可能（伸長性）で、かつ高速なソフトロ

ボットハンド・アームシステムの開発を最終的な目的としている。ここでは、そのプロトタイプとして小型のソフトロボットハンドシステムを構築する。これにより、上述した課題が解決されるとともに、人とロボットとの調和促進が期待できる。具体的には、視覚制御を含むソフトロボットハンドシステムを構築し、運動制御および物体把持の実現を目指した（図1）。

[研究の内容、成果]

本研究は目的で述べた通り、高速画像処理および高速視覚制御技術を用いて、ソフトロボットハンドの伸長動作、運動制御を行い、1つのアプリケーションとして物体把持を実現している。

本成果報告書では、構築したソフトロボットハンドシステム、そのシステムに対する高速視覚制御システム、それらを用いた実験結果について報告する。なお、視覚制御が主たる目標であるため、視覚制御に関する報告を行う。

ソフトロボットハンドシステム

ソフトロボットハンドシステムの構成は以下の通りである（図2）。

- ・ 剛性可変および伸長可能といった特徴を有する駆動部
- ・ 駆動部の動作系として、コンプレッサー
- ・ 駆動部の位置・姿勢を制御するサーボモータおよびサーボアンプ

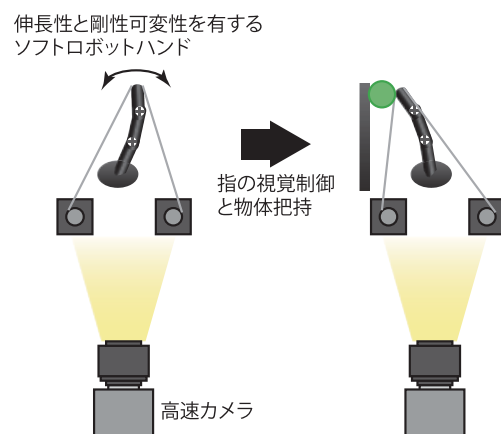


図1 本研究の目標

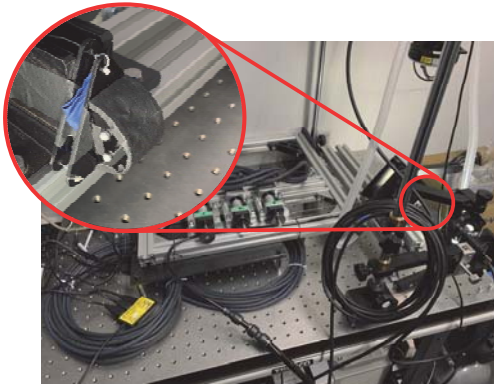


図2 ソフトロボットハンドシステム

- ・駆動部およびモータ系を制御するリアルタイムコントローラ
- ・ソフトロボットハンドの状態を捉える高速カメラ
- ・高速カメラから得られた画像を処理する画像処理 PC

高速カメラから1秒間に約1,000枚のソフトロボットハンドの画像を取得し、それを画像処理PCで実時間で処理し、その処理結果をリアルタイムコントローラにフィードバックすることにより、サーボモータを含む駆動系を動作させ、ソフトロボットハンド全体を制御する流れである。

以下にその詳細を説明する。

高速視覚制御システム

観測系である高速ビジョンシステム（高速画像処理）、視覚情報に基づく制御入力生成における幾何モデル（視覚制御）、駆動系であるソフトロボットハンドの流れで具体的な提案手法を説明する。

◆高速画像処理

一般的なロボットはサーボモータなどのアクチュエータを用いて運動制御が行われ、アクチュエータに搭載されているセンサ（例えば、エンコーダ）でロボット自身の状態を計測することができる。しかしながら、ソフトロボットハンドは構造的に自身の状態を推定するための

センサの搭載が困難であるため、環境側に設置したセンサでの状態計測が必要となる。そこで本研究では、高速な動作にも対応し、リアルタイムでの視覚制御を可能にするために高速画像処理技術を用いることにより、開発したソフトロボットハンドの状態計測を実施した。

具体的には、以下の画像処理アルゴリズムで行った。なお、ソフトロボットハンドの先端に光学マーカーを設置し、高速かつロバストな画像処理が可能となっている。

1. マーカー周辺に注視領域 ROI (Region of Interest) を設定する。
2. 1. で設定した ROI に対して、2 値化を行った後、以下で定義される画像モーメント $M_{p,q}$ を計算する。

$$M_{p,q} = \sum_{i=1} \sum_{j=1} f(i,j) i^p j^q$$

ここで、 $f(i,j)$ は画像の (i,j) における (0 または 1) の輝度値を表している。

3. 求められた画像モーメント $M_{p,q}$ から光学マーカーの中心位置 (x_{center}, y_{center}) を次式を用いて算出する。

$$x_{center} = \frac{M_{1,0}}{M_{0,0}}$$

$$y_{center} = \frac{M_{0,1}}{M_{0,0}}$$

ここで、 $M_{1,0}$ 、 $M_{0,1}$ は 1 次の画像モーメントを、 $M_{0,0}$ は 0 次の画像モーメントを表している。

4. 光学マーカーの中心位置 (x_{center}, y_{center}) に ROI の中心位置を更新する。
5. 2. ~4. を繰り返す。

これらの画像処理を約 1 ミリ秒毎に実行しており、これにより 1 kHz レベルでの高速な視覚制御を可能にする。

◆視覚制御

目標とするソフトロボットハンドの位置に対して、高速画像処理で得られた実際のソフトロ

ロボットハンドの位置の情報を用いて制御する。

今回構築したシステムのブロック線図を示したのが図3である。構築したシステムでは、視覚情報から得られる目標位置に対して、ソフトロボットハンドの指先位置を制御するために、ソフトロボットハンドの先端にケーブルを取り付け、そのケーブル長をサーボモータで制御する構造を本研究では採用した。

ソフトロボットハンドの位置とケーブル長の関係（図3における幾何モデル）を事前に導出しておくことにより、目標とする位置に対して、実際の動作に必要なケーブル長が算出され、そのケーブル長に対応して、サーボモータの回転角が制御される。

また、今回は3本のケーブルを使用することにより、2次元平面内での運動を可能にしている。

◆ソフトロボットハンド

上述した高速画像処理、視覚制御を用いて、構築したソフトロボットハンドを制御する。ソフトロボットハンドの詳細な構成を図4に示し、以下のような流れで運動制御が行われる。

1. 初期状態（伸長部が縮んでいる状態）から空気をコンプレッサーで送り込むことにより、伸長部が伸びる。
2. 高速画像処理によって把持対象の目標位置およびソフトロボットハンドの位置が計測される。
3. 計測結果に対して、位置制御するためのケーブル長が算出され、サーボモータの角度制御が行われ、所望の位置が得られる。

実験結果

構築した高速視覚制御系を含むソフトロボットハンドシステムを用いて、運動制御実験と1つの具体的なアプリケーションとして物体把持実験を行った。

図5は実験環境（ロボット初期状態）を示している。

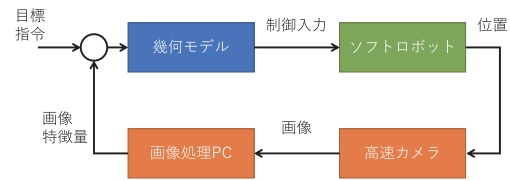


図3 高速視覚制御系

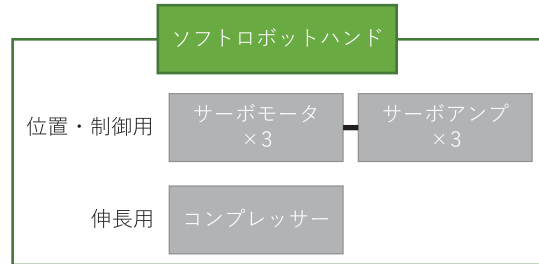


図4 ソフトロボットハンドの構成

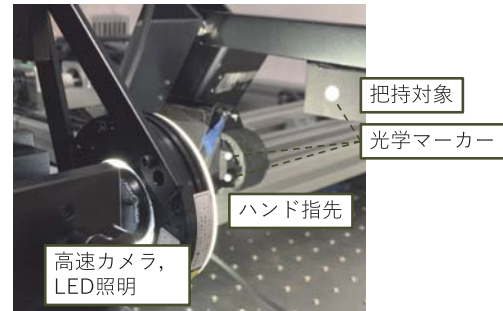


図5 実験環境（ロボット初期状態）

◆運動制御実験

図6は運動制御の実験結果であり、ビデオレートで撮影した動画を1フレーム（約33ミリ秒）毎に書き出した連続写真である。この結果から、把持対象の位置に応じてソフトロボットハンドの位置が制御されていることが確認できる。収束時間は約50ミリ秒であり、十分な即応性を有していることも確認できた。また、図5の初期状態と比較して、ソフトロボットハンドの伸長動作（伸長部のみにあって10倍）が実現されていることも確認できる。

◆物体把持実験

本実験では、把持対象物体としてボックス型の物体を使用した。本実験結果（図7）から、構築したソフトロボットハンドシステムを用いて安定した把持が可能であり、本提案手法の有

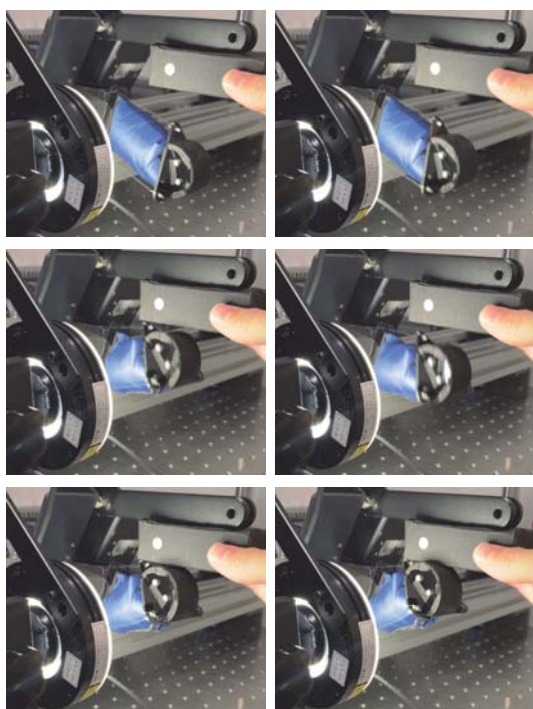


図6 運動制御実験の結果（連続写真）

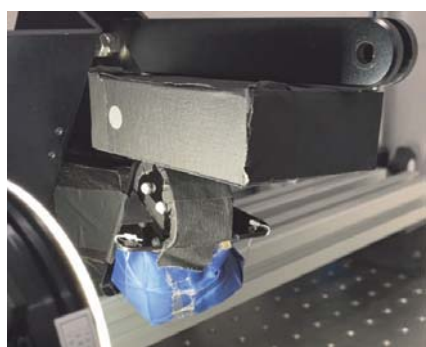


図7 把持実験の結果（ボックス型の把持対象）



図8 把持実験の結果（ペン型の把持対象）

効性が確認できた。

図7の実験結果に加えて、異なる形状の物体（ペン型）に対する把持実験も行った。その結

果を図8に示す。これらの結果からも提案システムの有効性が確認できる。

まとめ

本研究は目的で述べた通り、高速画像処理および高速視覚制御技術を用いた、新たなソフトロボットハンドシステムを構築した。そのシステムを用いて、ソフトロボットハンドの視覚制御を可能にするとともに、伸長動作、運動制御および1つのアプリケーションとしての物体把持を実現した。その結果として、提案システムおよび手法の有効性を確認した。

〔今後の研究の方向、課題〕

今後の研究の方向、課題としては、以下の項目が考えられる。

・多指ハンド化

1本指といったシンプルな構造でのシステム構築および動作検証を実現したが、同様の指構造を複数導入することにより、多指化およびロボットハンド化を可能にする。

・ロボットアーム化

今回のプロトタイプは比較的小型なシステム構成となっているが、同じメカニズムで大型化が可能となれば、ソフトロボットアームの開発が可能となる。さらにはハンドアーム化も期待できる。

・様々なタスク実現

上述したようなハンドアーム化や多指ハンド化が可能となることにより、適用範囲が拡大され、様々なタスク実現が可能となる。

〔成果の発表、論文等〕

学術論文、国際会議および国内会議に向けて投稿準備中